

Cambios de uso del suelo e impactos sobre el agua subterránea en un barrio al Sur de Tandil, Buenos Aires, Argentina

Land use change and impact on groundwater in a southern neighborhood of Tandil city, Buenos Aires, Argentina

Corina Iris Rodríguez*, María Carolina Miranda del Fresno, Roberto Esteban Miguel, Ana Cristina Ulberich, Alejandro Ruiz de Galarreta

Palabras clave:
urbanización,
planificación
territorial,
abastecimiento de
agua subterránea
Keywords:
urbanization, land
use planning,
groundwater supply

ABSTRACT

This work analyzes the changes in land use from 2003 to 2011 in a peripheral sector of 79, 62 hectares located at the Southern hilly area of Tandil city and its connection with groundwater quality and availability. The comparison and mapping of satellite images of the study area showed changes in land use from non-defined land uses and crop lands to tourist-commercial and residential utilization. However, this sector does not have drinking water and sewer systems. People use domiciliary boreholes to exploit phreatic aquifer for human and recreational consumption and they dispose their effluents in cesspits. Several problems related to groundwater use were found such as borehole drying, need to make them deeper, water quality disturbances, groundwater shortage in summer mainly for swimming pools, clogged cesspits due to extreme rains. Phreatic levels were measured and groundwater samples were taken in 2008 and 2011 to determine electrical conductivity (EC) and nitrate levels. Groundwater flow to the north and phreatic levels decreased in 2011. EC varied between 480 and 1400 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, showing local contamination in the most populated area. Nitrates showed the same pattern varying from 6 to 85 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, including a site with more than 200 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. The sector with the highest values is located downstream from groundwater flow. These alterations are mainly caused by local disposition of domiciliary effluents generating a half-closed cycle of groundwater disposition, transport and exploitation. The lack of both land-use planning from an environmental perspective and sanitary services together with recharge zone urbanization poses a risk to groundwater quality and availability as well as to human health.

RESUMEN

Este trabajo analiza los cambios de uso del suelo en el período 2003-2011 en un barrio de 79.62 ha ubicado al S interserrano de la ciudad de Tandil, y su vinculación con la calidad y disponibilidad de agua subterránea. El mapeo de imágenes satelitales y su contrastación en campo evidenciaron los cambios en los usos del suelo de la zona, pasando de lotes sin uso definido y cultivos a un incremento de aprovechamientos residenciales y turístico-comerciales principalmente. Debido a que el sector no es abastecido por servicios de agua de red y sistema cloacal, se utilizan perforaciones particulares para la extracción de agua del acuífero libre, para consumo humano y uso recreativo, y se depositan los efluentes domiciliarios en pozos absorbentes. Los habitantes informaron sobre problemáticas relacionadas al uso del agua como secado de pozos, necesidad de perforar a mayor profundidad, problemas de calidad del agua, escasez en época estival y para el llenado de piletas y colmatación de pozos ciegos. En 2008 y 2011 se midieron los niveles freáticos y se tomaron muestras de agua para conocer la conductividad eléctrica (CE) y el contenido de nitratos. El sentido de flujo subterráneo es hacia el N del área y se corroboraron descensos freáticos en 2011. La CE osciló entre 480 y 1400 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ denotando contaminaciones puntuales en la zona con mayor número de viviendas. El mismo comportamiento tuvieron los nitratos, variando desde 6 a 85 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, con un punto que supera 200 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Las zonas con mayores concentraciones se ubican aguas abajo respecto al flujo subterráneo. Estas alteraciones están ocasionadas principalmente por la disposición in situ de los efluentes domiciliarios, que genera un ciclo semicerrado de disposición - transporte - extracción del agua. La falta de planificación territorial con visión ambiental, sumada a la ausencia de servicios sanitarios y la ocupación en cabeceras de cuenca, pone en peligro la calidad y disponibilidad de agua subterránea y en riesgo a la salud de quienes la consumen.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo integra los cambios de uso del suelo y las alteraciones en la calidad y disponibilidad de agua subterránea que derivan de los modos de uso del recurso y de la ocupación del territorio.

El área de estudio constituye un barrio ubicado en la periferia S de la ciudad de Tandil emplazado en el sector interserrano y sobre las cabeceras de cuenca del Arroyo Langueyú (Figura 1).

Este sector periurbano se encuentra en creciente ocupación, sin embargo, la zona no está abastecida por los servicios de agua potable y red cloacal. Los propietarios realizan pozos de captación

hacia el acuífero freático, las cuales no son previamente autorizadas ni controladas, y vierten sus efluentes domiciliarios en pozos absorbentes o comúnmente llamados "ciegos". El diseño de las perforaciones de captación y de los sistemas de disposición de efluentes constituye un factor clave en relación a la posibilidad de contaminación del agua subterránea (CoFAPyS, 1993; FCIHS, 2009).

En un estudio realizado en una zona mayor que comprende al sector de estudio (CINEA, 2009), se detectaron aguas de buena calidad, con conductividades eléctricas entre 300 y 700 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ y tenores de nitratos que oscilaron entre 20 y 40 $\text{mg}.\text{L}^{-1}$ que pueden considerarse como línea de base para el presente trabajo. Dicho estudio hidrogeológico determinó, a partir del conocimiento del espesor del acuífero, que se trata de una

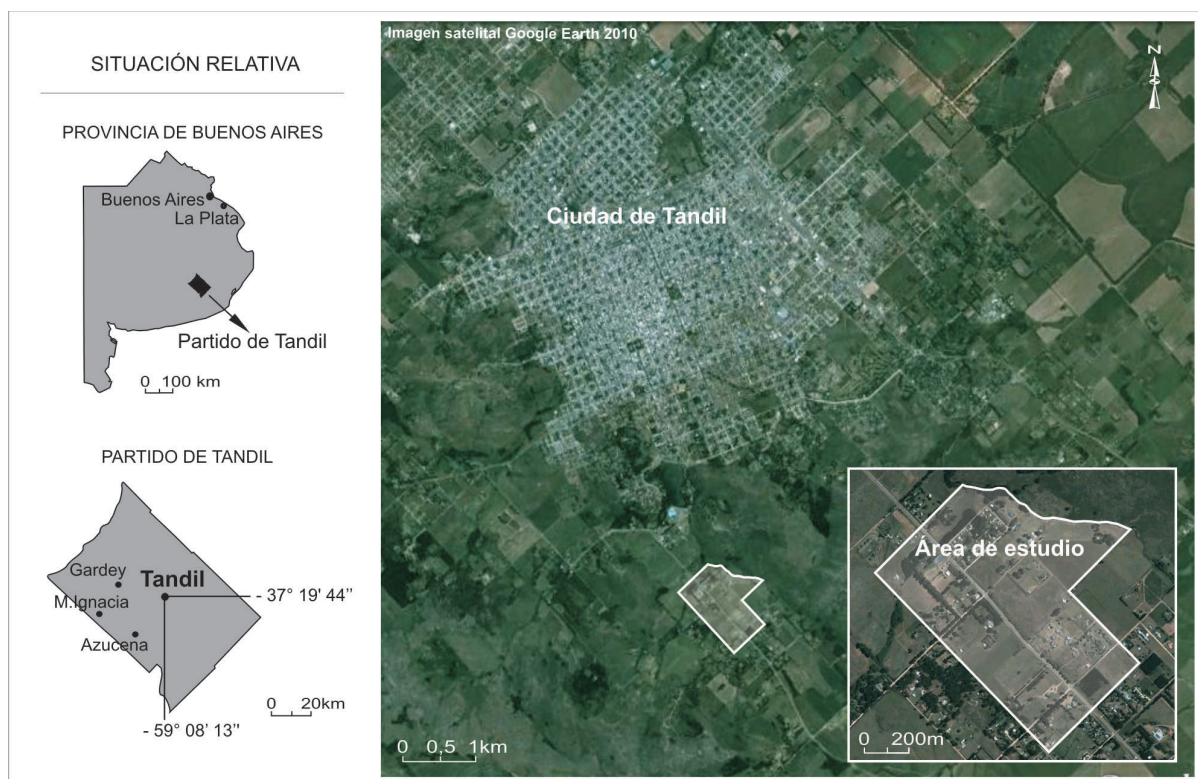


Figura 1. Ubicación del área de estudio

Figure 1. Study area location

zona extremadamente compleja para la explotación de agua subterránea, debido a que el relieve se encuentra controlado por el basamento rocoso muy cercano a superficie y en sectores aflorando, determinando un escaso espesor saturado de los sedimentos sobrepuestos, que limitan la transmisividad del sistema. Esta información es relevante debido a la creciente ocupación del suelo en el sector, dada en parte por viviendas con piletas de natación y establecimientos turísticos que presentan picos de ocupación en períodos estivales y vacacionales.

Asimismo, trabajos antecedentes dan cuenta que las concentraciones medias de nitratos para la región rondan los 30 mg.L⁻¹ (Ruiz de Galarreta & Banda Noriega, 2005; Barranquero *et al.*, 2008).

El uso del suelo, resultado de la interacción entre la acción antrópica y el medio natural, otorga características particulares a un espacio geográfico (Marlenko, 2003), y es útil para conocer la organización del territorio, indicando los usos más frecuentes y su distribución espacial.

La evolución del uso del suelo a partir de la comparación de mapeos con distintos cortes históricos permite medir la tendencia de crecimiento o decrecimiento de los usos, y detectar aquellos que pueden provocar áreas de riesgo o impactos ambientales (Miranda & Ulberich, 2009, 2010). Es así como esta técnica de zonificación contribuye en el diagnóstico y la gestión de problemáticas del agua subterránea, como se aborda en este caso de estudio.

El objetivo de este trabajo fue analizar los cambios de uso del suelo en el período 2003-2011 en el sector de estudio y su relación con la calidad y disponibilidad de agua subterránea. El propósito consistió en generar información de base sobre los usos del suelo y el manejo de aguas subterráneas para contribuir a la planificación territorial que considere la adecuada gestión del recurso hídrico, tendiente a minimizar los impactos sobre el ambiente y la salud de la población.

METODOLOGÍA

Área de estudio

El sector de estudio corresponde al partido de Tandil, ubicado en el SE de la provincia de Buenos Aires. Una de las cuencas del Partido, es la del arroyo Languetú, que se extiende desde sus cabeceras sobre las sierras del Sistema de Tandilia y se vuelve llana al norte, hacia los partidos de Rauch y Ayacucho.

El sistema serrano de Tandilia se caracteriza por la presencia de dos unidades geológicas (Teruggi & Kilmurray, 1980), por un lado, el basamento cristalino, formado por rocas ígneas plutónicas y, por otro, una cubierta sedimentaria que incluye sedimentos pampeanos de tipo limos loessoides. Hidrogeológicamente, las rocas que componen el basamento son acuífugas, pero presentan fracturas que le dan un carácter de acuífero pobre. En cambio, los sedimentos constituyen un ambiente poroso clástico que genera un acuífero que brinda la principal fuente de agua para la ciudad y alrededores (Ruiz de Galarreta, 2006).

En cuanto a la geomorfología regional, se diferencian sierras, piedemonte y llanura dentro del sistema de Tandilia (Ruiz de Galarreta, 2006). El sector serrano, con relieve pronunciado, presenta sierras, cerros aislados y valles, con aparición de bloques fallados. Sobre esta zona se emplaza el área de estudio, donde se advierte el basamento cristalino a escasa profundidad. A partir de las sierras, continúa el piedemonte, con una pendiente más suave, y con presencia de bloques de gran tamaño y conos aluviales. La zona llana se prolonga hacia el NE, con pendientes bajas.

En la cuenca del arroyo Languetú, el drenaje es hacia el NE acorde a la pendiente

regional (Ruiz de Galarreta *et al.*, 2007). Los rasgos geomorfológicos determinan la hidrología superficial y subterránea. En la zona serrana, se presentan pequeñas subcuencas que concentran las aguas, mientras que en la zona pedemontana el escurrimiento es divergente, y en la llanura el drenaje es deficiente y los flujos subterráneo y superficial presentan líneas subparalelas (Ruiz de Galarreta, 2006). En la zona periserrana de dicha cuenca se ubica la ciudad de Tandil, y al S se sitúa el área de estudio (Figura 1). En este sector se localiza la avenida Don Bosco, limitando al N con el Arroyo del Fuerte.

Respecto a las condiciones socio-económicas del área de estudio, en los últimos años el crecimiento urbano se ha desarrollado desde el centro hacia a periferia de la ciudad, incluso con construcciones en las laderas de las sierras. Éste sector está siendo poblado en forma paulatina por viviendas y por establecimientos hoteleros, gastronómicos y de uso turístico. Cuenta con una superficie de 79.62 ha, se caracteriza por la presencia de viviendas de distinta calidad de construcción y algunas en actual edificación, por calles que no están pavimentadas, a excepción de la avenida Don Bosco, y la falta de servicios sanitarios.

Métodos

Se recorrió la zona para el relevamiento de información y se realizaron entrevistas a los habitantes, para recabar información sobre: fuentes de agua para uso domésticos; características de las perforaciones o pozos, referidas a su construcción, antigüedad, diseño, protección sanitaria, cercanía a focos contaminantes; análisis de agua previos; sistemas de disposición de efluentes domiciliarios y problemas asociados a los mismos; relación y distanciamiento entre las perforaciones y los pozos absorbentes.

Se describió, a partir de técnicas fotocartográficas y trabajo de campo, el uso del suelo en los años 2003 y 2011, en el sector de estudio. Los materiales foto-

cartográficos utilizados fueron: plano urbano de la ciudad de Tandil, carta topográfica Sierras de Tandil, Hoja 3760-29-2, escala 1:50000 e imágenes satelitales Google Earth-Digital Globe.

El uso y la cobertura del suelo se detectaron y analizaron a partir de la confección de cartas temáticas, que surgieron de la realización de mapeos sobre imágenes satelitales y trabajo de campo en el área bajo estudio, con una escala de trabajo aproximada a 1:8100, y una superficie mínima de mapeo de 250 m². Se consideraron los cortes históricos de los años 2003 y 2011 para los cuáles se realizaron dos mapeos, el primero se realizó a partir de imágenes satelitales Google Earth-Digital Globe del año 2003, y el segundo se confeccionó sobre imágenes satelitales Google Earth-Digital Globe del año 2010 y trabajo de campo durante 2011 a fin de actualizar la verdad terrestre. Se adaptaron las categorías de la clasificación desarrollada por Anderson *et al.* (1976), reemplazándose el código numérico por colores para identificar y delimitar geográficamente los distintos usos del suelo en los diferentes mapeos.

Se realizó un relevamiento de 15 perforaciones para constituir una red de medición y muestreo y permitir el conocimiento de la hidrodinámica local y la extracción de muestras. Con respecto a la hidrodinámica subterránea, en junio de 2008 y posteriormente en febrero y junio de 2011 se realizaron mediciones de la profundidad del nivel freático en las perforaciones seleccionadas utilizando una sonda hidrométrica. Para la obtención de alturas de cota topográfica se procedió a la nivelación de la zona de estudio, debido a que las cartas topográficas disponibles no reflejan la realidad del terreno por poseer equidistancias de 10 metros, determinándose los valores de cota de cada uno de los pozos censados. El nivel freático resultó de la diferencia entre la cota topográfica de la boca de pozo y la profundidad del agua subterránea medida en campo. Con

los resultados se construyeron mapas equipotenciales y se conoció el sentido de escurrimiento subterráneo local.

En cuanto a la hidroquímica, en las mismas fechas se extrajeron muestras en las perforaciones seleccionadas. Para la toma de muestra, se utilizaron recipientes plásticos de 1 litro limpios. Se realizó la medición de conductividad eléctrica (CE) *in situ* con un Conductivímetro marca ORION 105 Aplus. Las muestras fueron transportadas y conservadas en frío. Se determinaron las concentraciones del ión nitrato, a través del método espectrométrico ultravioleta selectivo (Eaton *et al.*, 2005).

La CE resulta útil para dar cuenta del contenido salino existente en las aguas subterráneas y el ión nitrato constituye un indicador de contaminación de origen orgánico. Si bien sería interesante analizar otros compuestos químicos para conocer detalladamente la calidad del agua, se ha considerado relevante la determinación del ión nitrato ante el posible incremento por contaminación antrópica en áreas urbanizadas. Ambos parámetros son indicadores relevantes en sectores con disposición de excretas *in situ* y tienen implicancias sobre la salud de la población que consume el agua subterránea. Para la interpretación de los resultados y su relación con la hidrodinámica subterránea, se construyeron mapas de isoconductividad y concentraciones de nitratos.

Además, se tomaron 5 muestras para el análisis microbiológico con el objetivo de complementar la información química con parámetros de calidad bacteriológica. Las muestras fueron colectadas en recipientes estériles de 250 ml y con envoltura externa. Se seleccionaron las canillas conectadas directamente a las perforaciones, esto significa cuya distribución del agua evite el paso por tanques de almacenamiento, para conocer la calidad del agua tal como se extrae de la perforación, sin estar afectada por problemas sanitarios de tanques y cañerías.

Se limpiaron las bocas de las canillas y se esterilizaron mediante un hisopo embebido con alcohol y encendido, para finalmente llenar el envase estéril.

Las determinaciones se basaron en lo estipulado por el Código Alimentario Argentino (CAA, 2010) que, en su artículo 982, determina los niveles permisibles en agua para consumo humano, correspondiente a las bacterias: aeróbicas mesófilas, coliformes totales, *Escherichia coli* y *Pseudomona aeruginosa*.

El número de bacterias aeróbicas mesófilas se determinó por el método de recuento en placa en medio de cultivo Agar Plate Count, durante 24 horas a 37 °C. Se determinó el número más probable (NMP) de bacterias coliformes totales en 100 ml a través de la siembra por triplicado en tubos con caldo Mac Conkey con diferentes concentraciones y volúmenes de muestra, incubados a 37 °C por 48 hs. *Escherichia coli* fue aislada y sembrada por estrías en superficie en agar Eosina azul de metileno (EMB), a 37 °C durante 24 a 48 horas. *Pseudomona aeruginosa* fue aislada y sembrada en superficie en placas con Agar Cetrimide incubándose a 37 °C entre 24 y 48 horas (Eaton *et al.*, 2005).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 2 muestra el uso del suelo y la hidrografía (arroyos y canales) de la zona de estudio para los años 2003 y 2011.

De la Tabla 1 y Figura 2, se desprende que:

1. Los usos detectados fueron: residencial

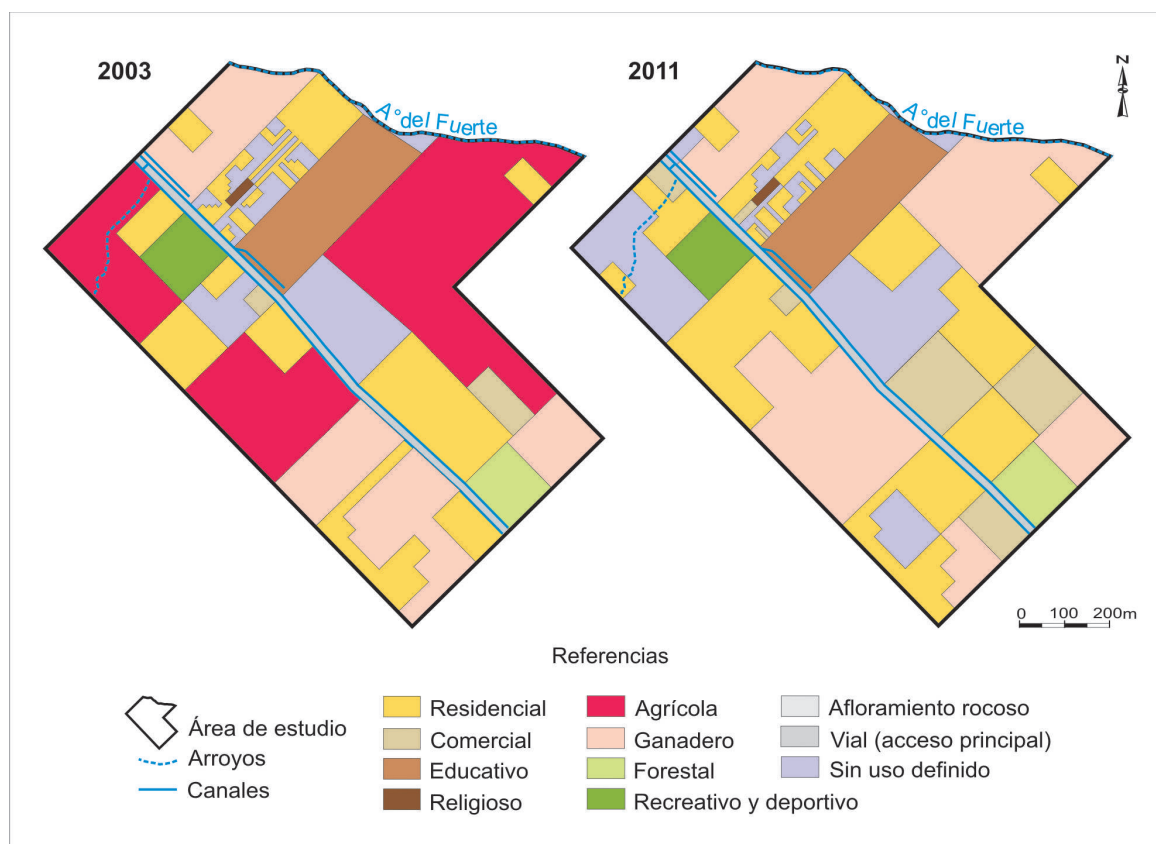


Figura 2. Usos y cobertura del suelo.

Figure 2. Land uses and cover

Usos	2003		2011	
	ha	%	ha	%
Residencial	16.97	21.32	23.71	29.78
Comercial	1.20	1.51	6.29	7.89
Educativo	6.23	7.83	6.23	7.83
Religioso	0.14	0.17	0.14	0.17
Recreativo y deportivo	1.98	2.49	1.98	2.49
Forestal	1.84	2.31	1.84	2.31
Agrícola	26.34	33.09	0.00	0.00
Ganadero	15.11	18.98	24.49	30.76
Afloramiento rocoso	4.09	5.14	4.09	5.14
Sin uso definido	3.64	4.58	8.79	11.04
Vial (acceso principal)	2.06	2.59	2.06	2.59
Total	79.62	100.00	79.62	100.00

Tabla 1. Superficies de uso y cobertura del suelo.

Table 1. Areas of land use and cover

(viviendas particulares), comercial (cabañas, casa de picadas, casas de té), educativo (Chacra de la Facultad de Veterinarias), religioso (capilla Ntra. Sra. de las Sierras), recreativo y deportivo (campo de deportes Club El Pucará), forestación (plantación de pinos), agrícola (cultivos), ganadero (pastoreo y cría de animales), sin uso definido (todos aquellos lotes baldíos o libres de un uso específico), vías de acceso (Avenida Don Bosco que conecta la zona con la ciudad por el norte y con la Ruta Provincial 74 por el sur), y el afloramiento rocoso como cobertura característica del sistema serrano.

2. Los usos que aumentaron en superficie fueron: el residencial en +6.73 ha, debido principalmente a la construcción de viviendas particulares; el comercial en +5.08 ha debido a la instalación de nuevos complejos de cabañas y casas de té; el ganadero en +9.38 ha por la ocupación de terrenos antes dedicados al uso agrícola fundamentalmente; y sin uso definido en +5.15 ha debido a la ocupación de espacios destinados a usos agrícolas y ganaderos.
3. El uso que desapareció es el agrícola: las 26.34 ha que ocupaba en 2003 fueron remplazadas por otros usos, como el residencial, comercial, ganadero e incluso lotes sin uso definido. El resto de los usos mantuvieron la misma superficie durante el período analizado.

Con respecto a los modos de apropiación del agua subterránea, se utilizan perforaciones particulares para la extracción desde el acuífero libre, para consumo humano y uso recreativo, y se depositan los efluentes domiciliarios en pozos absorbentes. Las perforaciones consideradas para este estudio se indican en la Figura 3 y sus características de diseño y construcción se detallan en la Tabla 2. Se observa que la mayoría de las perforaciones y pozos relevados tienen falencias en su

construcción, ya sea dadas por la inadecuada protección superficial como por la carencia de cañería de encamisado o sellado.

Los habitantes informaron sobre distintas cuestiones relacionadas al uso del agua que dan cuenta de las crecientes dificultades para acceder al agua, a medida que se producen cambios en los usos del suelo en la zona bajo estudio. Entre ellas detallaron problemas de secado de pozos, tal como se evidenció en el molino ubicado en el Sitio Nº 7, en el cual pudo medirse el nivel freático en el año 2008 y posteriormente se produjo el secado, a pesar de que los años siguientes tuvieron mayores precipitaciones y por ende mayor recarga subterránea. Otra problemática es la necesidad de perforar a mayor profundidad en terrenos donde existían pozos someros, tal como sucedió en el Sitio Nº 10, asociado a descensos del nivel freático como se detallan más adelante.

En varios casos, los complejos turísticos y algunas viviendas tienen dificultades para llenar sus piletas de natación en época estival, teniendo incluso que recurrir a la compra agua en camiones cisternas a un alto costo, como sucedió en 2011 en el Sitio Nº 13.

Se suman los antecedentes de degradación de calidad del agua, comentados por vecinos que enviaron muestras a analizar y resultaron no aptas para consumo humano. Otra preocupación, está dada por la colmatación y desborde de pozos ciegos en eventos de precipitaciones extremas, sobre todo en la zona más baja del barrio.

Las mediciones de niveles freáticos permitieron conocer, por un lado, el espesor de la zona no saturada y, por otro, el sentido de escurrimiento subterráneo, indicando la convergencia del flujo hacia el norte del área de estudio.

El espesor de la zona no saturada varió entre 1.6 m y 9.4 m en 2008. Mientras que en 2011, tanto en las mediciones de febrero como en junio se produjeron descensos del nivel freático, incrementándose el espesor

Sitio Nº	Fecha de construcción	Características de diseño y protección	Cercanía a focos contaminantes
1	Reciente. 2007	Perforación. 22 metros de profundidad. Encamisado. Sellado. Protección superficial adecuada. Bomba sumergida.	Chacra experimental (ex matadero y basural) ubicada aguas arriba.
2	1988	Jagüel cavado a pico y pala. 5 metros de profundidad. Protección superficial inadecuada. Bomba manual.	Ubicado aguas abajo respecto al flujo subterráneo local.
3	Reciente. 2007	Perforación. 8 metros de profundidad. Sin sellado. Protección superficial inadecuada. Bombeador en superficie.	Cercano al pozo absorbente. Rodeado de animales domésticos. Ubicado aguas abajo respecto al flujo subterráneo local.
4	Antiguo. Más de 75 años	Jagüel cavado a pico y pala. 7 metros de profundidad. Con incorporación de bombeador en superficie. Protección superficial inadecuada.	Rodeado de animales domésticos. En el pasado cría de ganado porcino. Ubicado al N del área, aguas abajo respecto al flujo subterráneo local.
5	Antiguo	Pozo cavado a pico y pala. Protección superficial inadecuada. Bombeador en superficie. Sin dato de profundidad	Ubicado aguas abajo respecto al flujo subterráneo local.
6	Antiguo	Perforación. Protección superficial inadecuada. Bombeador en superficie. Sin dato de profundidad	Ubicado al N del área, aguas abajo respecto al flujo subterráneo local.
7	Incluye: a) Perforación reciente. b) Molino antiguo.	a) Perforación: Encamisado. Sellado. Protección superficial adecuada. Bomba sumergida. Sin dato de profundidad. (Se utilizó para la toma de muestras de agua). b) Molino: pozo cavado. Protección superficial inexistente. Profundidad de 18 metros. (Se utilizó para medir el nivel freático).	Cercano a una casa antigua abandonada con posible pozo ciego en desuso.
8	Antiguo	Molino colocado sobre un pozo cavado a pico y pala. Protección superficial inadecuada. Pérdidas en las cañerías de agua.	Funcionó un matadero hasta 1960, cuando pasó a ser un basurero municipal por varios años. En la actualidad el predio constituye una chacra experimental universitaria donde se crían animales.
9	Reciente	Perforación. Encamisado. Sellado. Protección superficial inadecuada. Bomba sumergida. Sin dato de profundidad	
10	Incluye: a) Perforación reciente, 2008. b) Aljibe antiguo.	a) Perforación: 20 metros de profundidad. Encamisado. Sellado. Protección superficial adecuada. Bomba sumergida. (Se utilizó para la toma de muestras de agua). b) Aljibe: pozo cavado a pico y pala. Protección superficial inexistente. Profundidad de 6 metros. (Se utilizó para medir el nivel freático).	
11	Reciente. Menos de 10 años.	Perforación. 20 metros de profundidad. Encamisado. Sellado. Protección superficial adecuada. Bomba sumergida.	Ubicado al N del área, aguas abajo respecto al flujo subterráneo local.
12	Antiguo	Molino colocado sobre un pozo cavado a pico y pala. Protección superficial inadecuada. Sin dato de profundidad.	
13	Reciente. Menos de 10 años	Perforación. Encamisado. Sellado. Protección superficial inadecuada. Bomba sumergida. Sin dato de profundidad	Aguas abajo de un complejo de cabañas y obras en construcción.
14	Reciente. 5 años	Perforación. Encamisado. Sellado. Protección superficial adecuada. Bomba sumergida. Sin dato de profundidad	
15	Reciente.	Perforación. Encamisado. Sellado. Protección superficial adecuada. Bomba sumergida. Profundidad 28 metros.	

Tabla 2. Características de diseño de las perforaciones y pozos.

Table 2. Design characteristics of the boreholes

de la zona no saturada hacia valores entre 3.3 m y 11.3 m.

Se presenta en la Figura 3 el mapa equipotencial correspondiente a junio de 2008 y en la Figura 4 el correspondiente a junio 2011. Tanto en las mediciones de febrero y junio 2011 se corroboraron descensos del nivel freático, manteniéndose el sentido del flujo subterráneo local, hacia

el N de la zona de estudio. Incluso en junio de 2011 la profundización de los niveles fue mayor a la época estival (febrero 2011).

Considerando que 2008 fue un año con bajas precipitaciones (535.2 mm anuales) las cuales se incrementaron posteriormente (617.2 mm en 2009; 928.6 mm en 2010; 836.4 mm en 2011) favoreciendo la recarga subterránea, se atribuye el descenso de

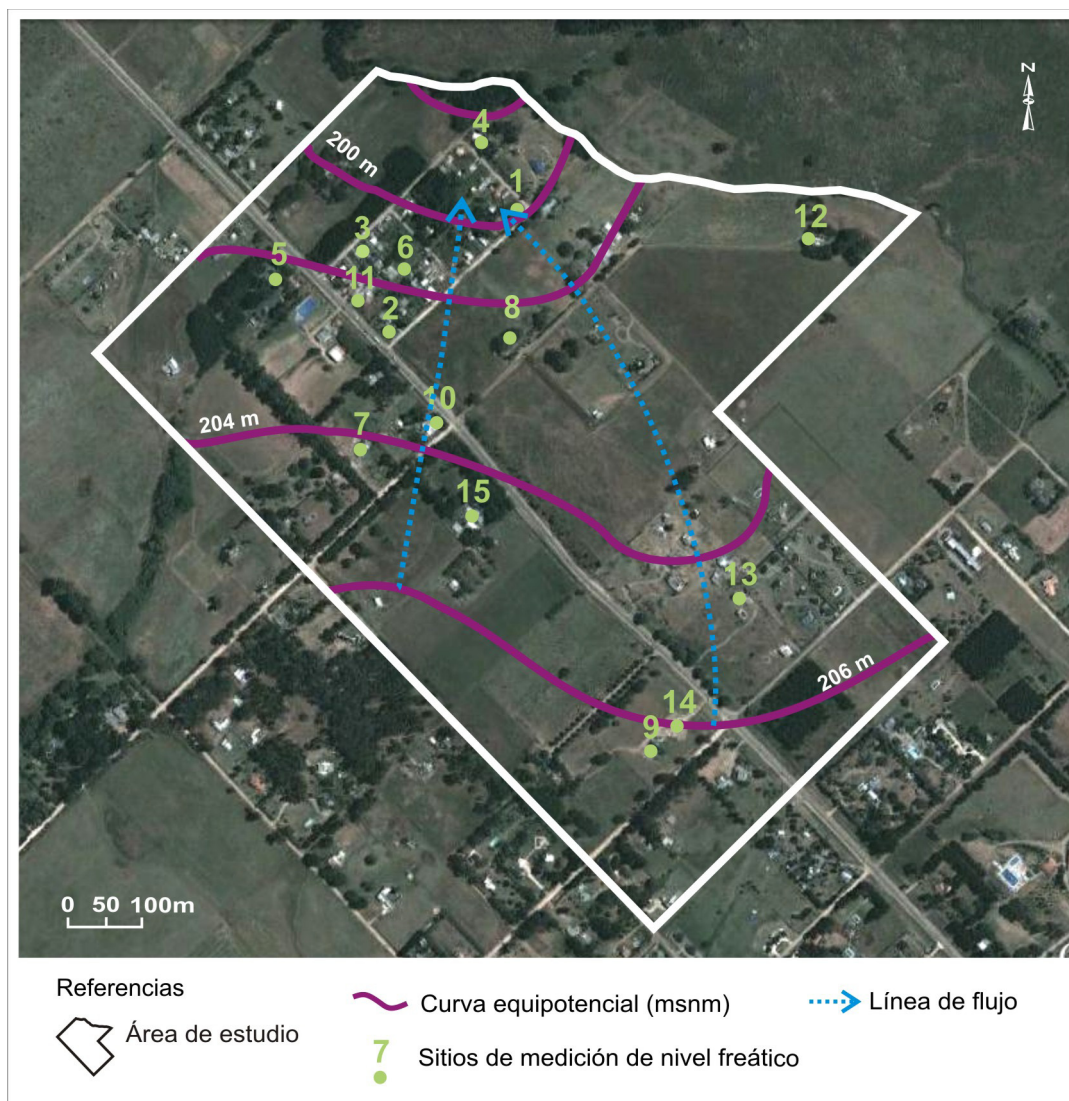


Figura 3. Sitios de medición y mapa equipotencial para junio 2008.

Figure 3. Sampling sites location and water table map for June 2008

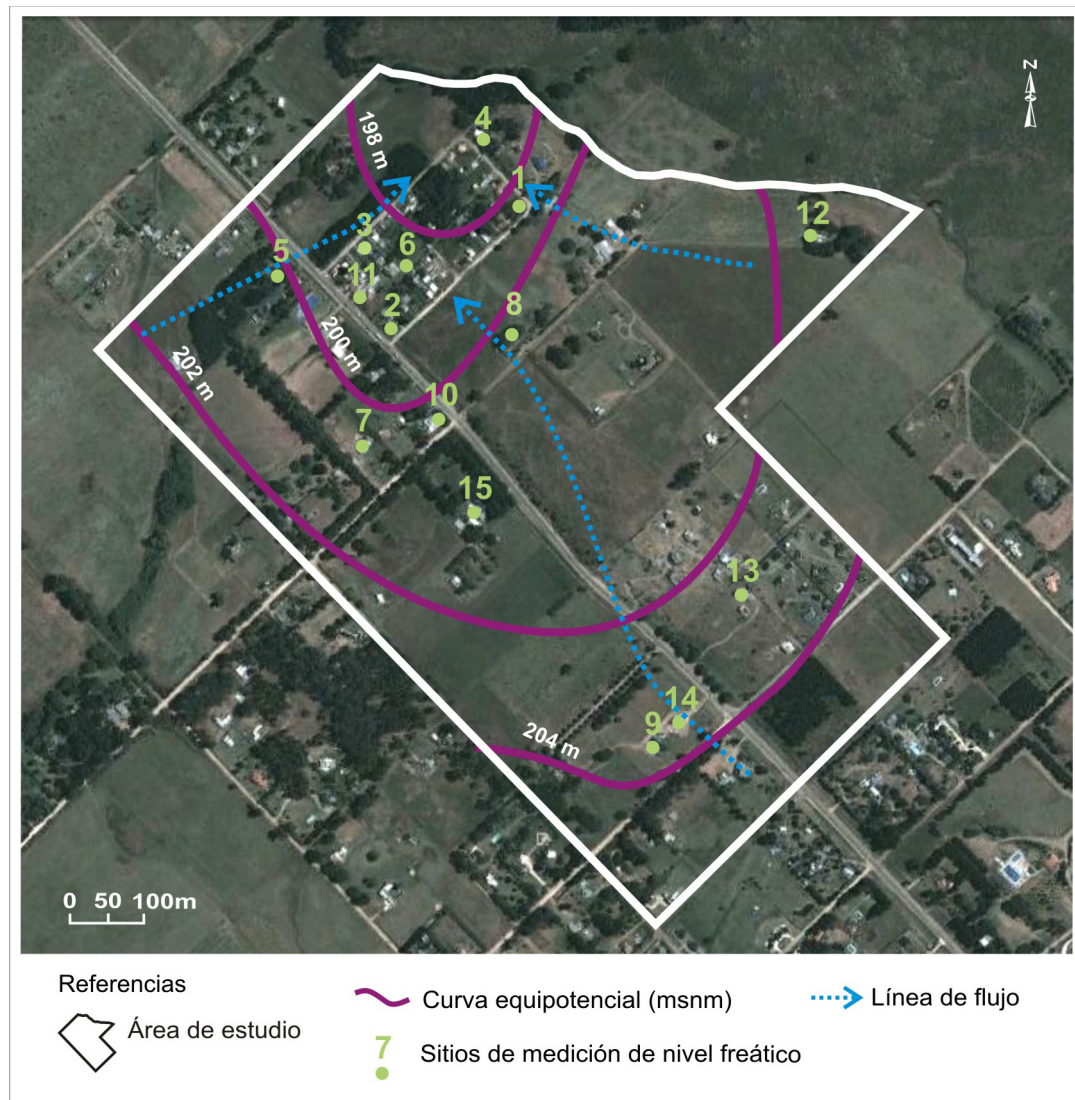


Figura 4. Mapa equipotencial para junio 2011.

Figure 4. Water table map (June 2011)

niveles freáticos detectados a los cambios de uso del suelo en la zona, que determinaron un incremento del uso residencial y comercial, con la consecuente realización de perforaciones para explotación de agua subterránea, incluyendo especialmente la construcción de piletas de natación en viviendas y complejos de cabañas.

Los resultados de los análisis físico-químicos indicaron que la CE osciló entre 480 y 1400 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$, presentando sus mayores valores y, denotando contaminaciones puntuales, en la zona con mayor densidad de viviendas. En algunos sitios se produjo incremento de los valores, tales como el N°1 donde la CE fue de 630 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ en 2008,

aumentando a $756 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ en febrero 2011 y $853 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ en junio 2011.

Un comportamiento similar tuvieron los nitratos en el área de estudio, variando desde 6 a $85 \text{mg}.\text{L}^{-1}$, con un punto que supera $250 \text{mg}.\text{L}^{-1}$. Nuevamente se detectó el aumento de este parámetro en la perforación N°1, pasando de $43.5 \text{mg}.\text{L}^{-1}$ en 2008 a $58.8 \text{mg}.\text{L}^{-1}$ en 2011.

Lo sucedido en el sitio N° 1 denota que, a pesar de contar con una perforación reciente con buen diseño y protección

(Tabla 2), el incremento de construcciones residenciales en los alrededores (Figura 2) con la consecuente disposición de efluentes y la presencia de la chacra experimental con cría de animales (sitio N° 8) aguas arriba, se presenta como la principal causa de las variaciones en la calidad del agua y en los niveles freáticos.

Específicamente para la campaña de febrero 2011, los resultados de CE y nitratos se presentan en los mapas de las Figuras 5 y 6 respectivamente.

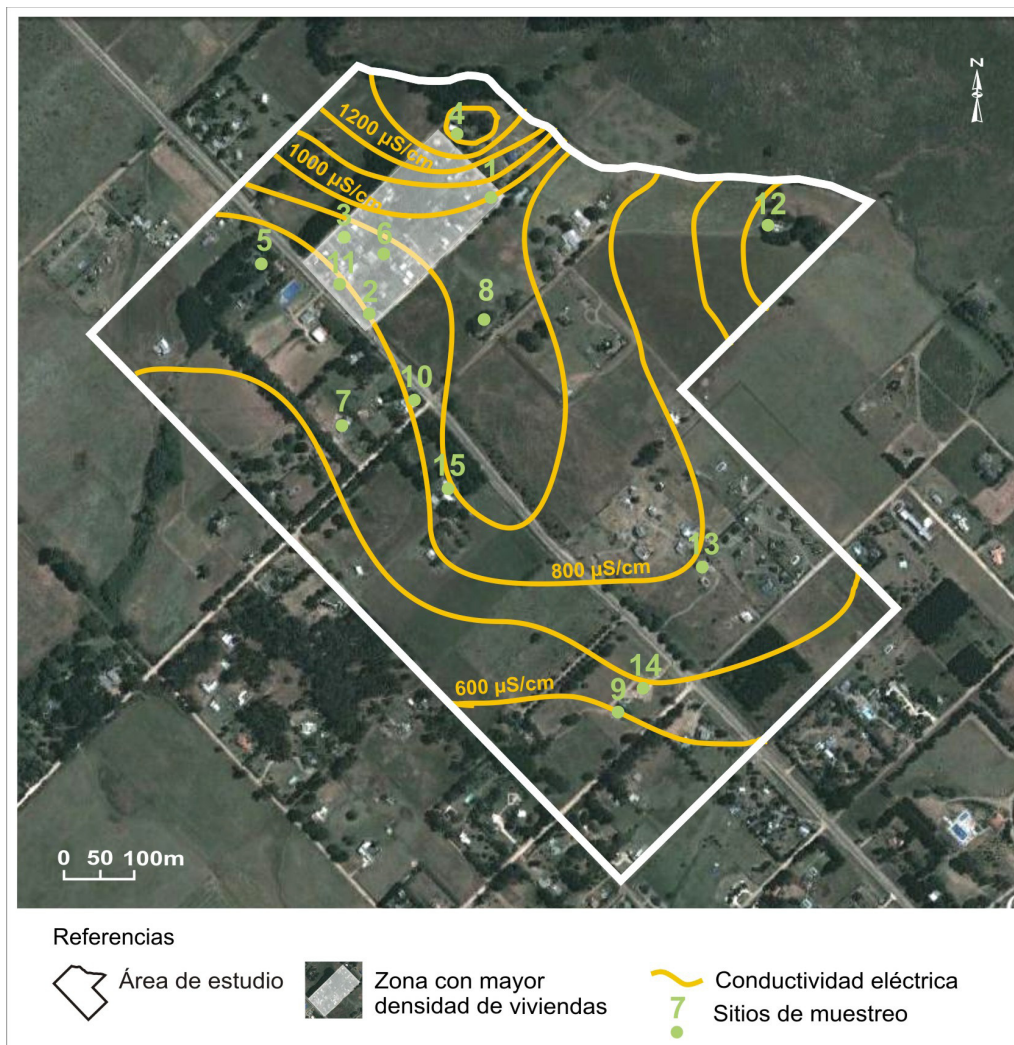


Figura 5. Mapa de isoconductividad (febrero 2011).

Figure 5. Isoconductivity map (February 2011)

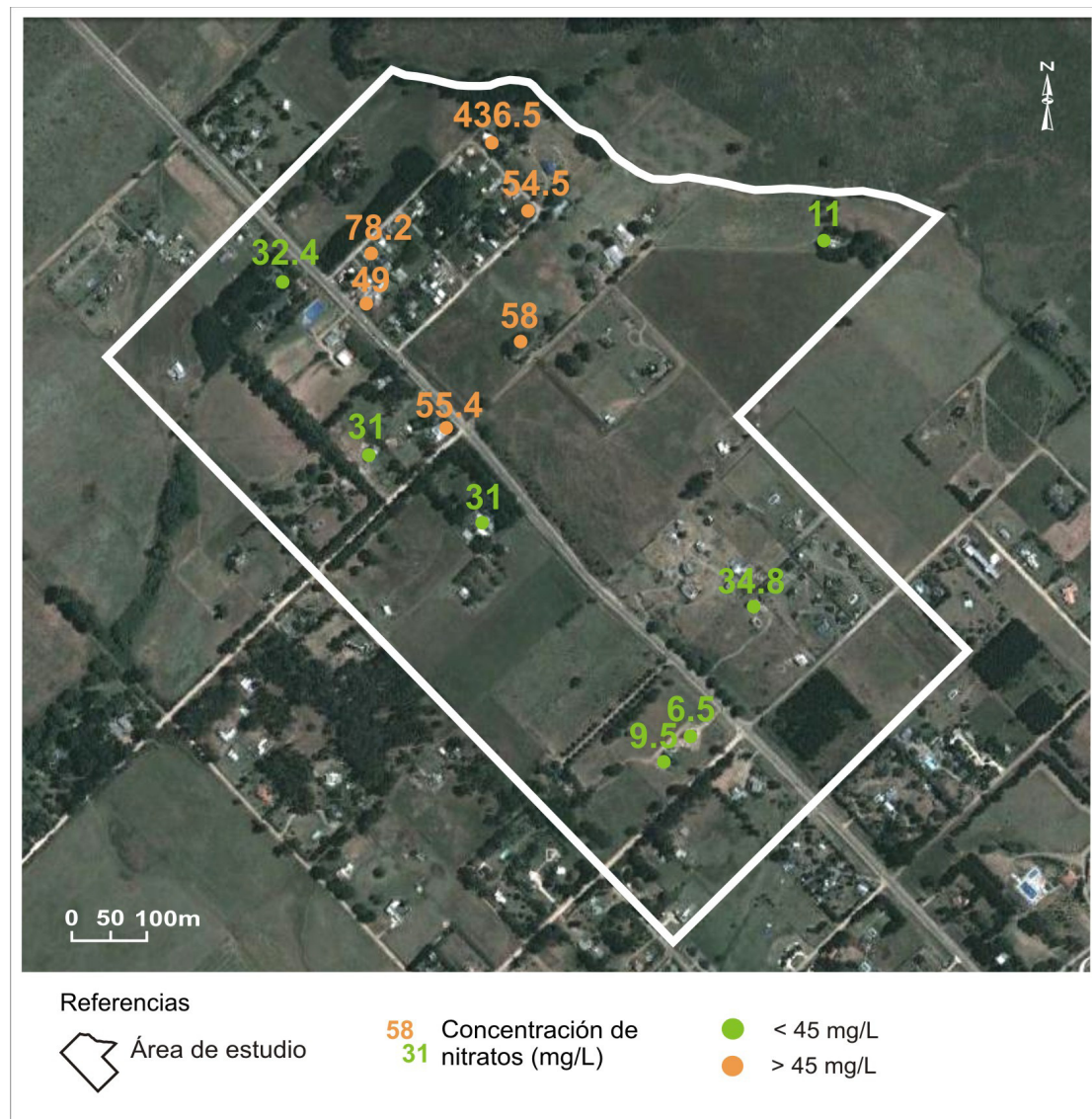


Figura 6. Concentraciones de nitratos en mg.L^{-1} (febrero 2011).

Figure 6. Nitrate concentration in mg.L^{-1} (February 2011)

Se observa la relación existente entre el sentido de escurrimiento subterráneo (Figuras 3 y 4) hacia el norte del área de estudio, coincidiendo con la zona topográficamente más baja y con mayor densidad de viviendas, y la determinación de los valores elevados de CE y nitratos (Figuras 5 y 6).

Los resultados microbiológicos, si bien sólo fueron analizados en 5 sitios, presentaron niveles que vuelven no aptas las aguas para consumo humano. Como se observa en la Tabla 3, en dos de las muestras las bacterias mesófilas superaron ampliamente el nivel permitido por el CAA y una tercera se encontró cercana al límite.

Muestra No	Bacterias mesófilas (UFC/mL)	Parámetros analizados		
		NMP Coliformes totales / 100 mL	<i>E. coli</i> / 100 mL	<i>P. aeruginosa</i> / 100 mL
1	50	0	Ausencia	Ausencia
4	2080	460	Presencia	Ausencia
5	515	75	Ausencia	Ausencia
6	1930	93	Ausencia	Ausencia
10	130	4	Ausencia	Ausencia
Niveles permisibles CAA	500	3	Ausencia	Ausencia

Tabla 3. Análisis microbiológicos.

Table 3. Microbiological analyses

Con respecto a los coliformes totales, dos muestras se encontraron muy por encima del valor permitido. En cuanto a *Escherichia coli*, coliforme de origen fecal, se manifestó en sólo una de las muestras y *Pseudomona aeruginosa*, otro patógeno establecido en la legislación argentina, no fue detectada en ninguna de las muestras analizadas.

CONCLUSIONES

El análisis de los cambios de ocupación del territorio en el período bajo estudio permitió conocer los usos del suelo y sus tendencias de crecimiento. Estas variaciones, se caracterizaron especialmente por el incremento del uso residencial y turístico-comercial, y no han sido acompañadas por el abastecimiento de los servicios sanitarios básicos, como los de agua potable y cloacas. También se evidenció el incremento en el uso ganadero y la desaparición de la actividad agrícola.

Se corroboraron descensos de los niveles freáticos en el período 2008-2011, a pesar de un incremento de las precipitaciones en el mismo lapso. Estos descensos se condicen con los testimonios de los pobladores de la zona que dan cuenta de crecientes dificultades para acceder al agua subterránea a medida que se producen cambios en los usos del suelo, con la consecuente realización de nuevas perforaciones más cercanas entre sí.

Respecto a la calidad del agua, en gran parte del área de estudio la conductividad eléctrica supera $700 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ y los nitratos exceden $30 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, ambos valores determinados por estudios antecedentes en la zona. Se detectaron incluso aumentos de dichos parámetros para una misma perforación en el período 2008-2001.

Además, se exceden parámetros de calidad recomendados por la legislación argentina, tales como indicadores microbiológicos y principalmente las concentraciones de nitratos mayores a $45 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

Las alteraciones en los parámetros de calidad del agua, ponen en evidencia

la existencia de focos de contaminación puntual, ocasionados principalmente por aportes provenientes de criaderos de animales y por la disposición in situ de efluentes domiciliarios en pozos absorbentes, generando así un ciclo semicerrado de disposición- transporte - extracción del agua.

Además, se detectaron deficiencias en la construcción, diseño y protección sanitaria de la mayoría de las perforaciones relevadas, así como un escaso distanciamiento entre los pozos de extracción de agua y los pozos ciegos, ambos factores favorecen la contaminación del agua para consumo.

Considerando los estudios antecedentes mencionados, que dan cuenta de las dificultades del sistema acuífero para brindar agua en cantidad necesaria para una población creciente, y los resultados de análisis de calidad de aguas obtenidos en este trabajo, se pone de relevancia la necesidad de planificar la ocupación del territorio.

Dicha planificación territorial debe ser integral y poseer un enfoque ambiental, tendiente a evitar o minimizar impactos ambientales sobre el sistema hídrico subterráneo y los riesgos para la salud de la población que utiliza dicho recurso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson JR, Hardy E, Roach J & Witmer R. 1976. *A Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data*. Geological Survey Professional, Paper 964, Washington, EUA: 34 p
- Barranquero R, Varni M, Banda Noriega R, Ruiz de Galarreta A, Quiroga M & Landa R. 2008. Caracterización hidroquímica de las aguas subterráneas en la cuenca del arroyo Languyú, partido de Tandil, Buenos Aires. *Actas del II Congreso Argentino de la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental (SETAC)*, Mar del Plata: 41
- CINEA (Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales). 2009. *Estudio Hidrogeológico en la zona aledaña a la Avenida Don Bosco de la ciudad de Tandil*. Convenio Municipalidad de Tandil – Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. CINEA, Tandil, provincia de Buenos Aires, Argentina, Informe final: 41 p
- CAA (Código Alimentario Argentino). 1969, actualizado en 2010. Capítulo XII: Bebidas hídricas, agua y agua gasificada. Ley 18.284. Argentina. http://www.anmat.gov.ar/alimentos/codigoa/CAPITULO_XII.pdf
- CoFAPyS (Consejo Federal de agua potable y saneamiento, Ministerio de Economía y obras y servicios públicos de la Argentina.). 1993. *Normas de estudio, criterios de diseño y presentación de proyectos de desagües cloacales para localidades de hasta 30.000 habitantes*. Fundamentación de normas, Vol. II: 7. 70 p
- Eaton A, Clesceri L, Rice E, Greenberg A & Franson M. 2005. *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater*. APHA (American Public Health Association), 21st Edition, Washington DC: 1368 p
- FCIHS (Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea). 2009. *Hidrogeología*. Barcelona: Ediciones FCIHS.
- Marlenko N. 2003. Uso de la tierra. P 99-122 En: Navone SM (ed) *Sensores remotos aplicados al estudio de los recursos naturales*. Editorial de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires
- Miranda del Fresno M & Ulberich A. 2009. Crecimiento urbano y problemas ambientales en el SE de Tandil. *V Jornada de Medio Ambiente, Tandil, Argentina*, 5 de Junio. Asociación Civil de Licenciados en Diagnóstico y Gestión Ambiental, Facultad Ciencias Humanas de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Municipio de Tandil: 26 p

- Miranda del Fresno M & Ulberich A. 2010. Problemas ambientales derivados del crecimiento urbano en el sector serrano S-SE de la ciudad de Tandil, provincia de Buenos Aires. *VI Congreso Nacional Ambiental 2010*, 20 al 22 de Octubre. Universidad Nacional de San Juan, San Juan, Argentina: 11 p
- Ruiz de Galarreta A & Banda Noriega R. 2005. Geohidrología y evaluación de nitratos del Partido de Tandil, Buenos Aires, Argentina. *IV Congreso Argentino de Hidrogeología y II Seminario Hispano – Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea*. Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Córdoba, Argentina: 99-108
- Ruiz de Galarreta A. 2006. *Geohidrología y balance hidrológico de la zona no saturada en la cuenca superior del arroyo Tandileofú, Provincia de Buenos Aires*. Tesis doctoral de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la Universidad Nacional de La Plata. La Plata, Argentina: 181 p
- Ruiz de Galarreta A, Varni M, Banda Noriega R & Barranquero R. 2007. Caracterización geohidrológica preliminar en la cuenca del Arroyo Langueyú, partido de Tandil, Buenos Aires. *Actas V Congreso Argentino de Hidrogeología*. Asociación Internacional de Hidrogeólogos Grupo Argentino. Octubre 2007. Paraná, Entre Ríos: 119-128
- Teruggi M & Kilmurray J. 1980. Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires. Vol II: 919-965 En: *Segundo Simposio de Geología Regional Argentina*. Academia Nacional de Ciencias, Córdoba, Argentina: 1717 p